

氏 名	小 沢 広 和
生 年 月 日	
本 籍	神奈川県
学 位 の 種 類	博士(理学)
学 位 記 番 号	博甲第494号
学位授与の日付	平成14年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	Recent and Pleistocene ostracode fauna along the Japan Sea coast-a case study of extinction for the Omma-Manganji species-(日本海沿岸の現在・更新世介形虫相～特に大桑-万願寺型種の絶滅について)
論文審査委員(主査)	神谷 隆宏(理学部・助教授)
論文審査委員(副査)	大村 明雄(理学部・教授) 加藤 道雄(自然科学研究科・教授) 塚脇 真二(工学部・助教授) 池谷 仙之(静岡大学理学部・教授)

学 位 論 文 要 旨

英文要約

Recent and Pleistocene fossil Ostracoda (benthos, Crustacea) from Japan Sea were extensively studied for the first time with special attention to habitat environments. Results showed that four recent assemblages are distributed in respective range, depending on the water temperature (T) and salinity (S) of different water mass environments, especially those of summer. There are some recent cryophilic (Omma-Manganji) species that survived Pleistocene up to recent, in contrast with the extinguished group. The survived cryophilic species are grouped into three types, based on the geographical distributions and T-S characters in their habitats; 1) Open sea around Japan (OJ), 2) Open sea and Inner bay around Japan (OIJ) and 3) Open sea around Japan and Alaska (OJA). OJ-type is distributed in the limited range of S with wider range of T. OIJ-type is found from habitats with wider range of T-S. OJA-type is characterized by the wider range of S and limited range of lower T. These ranges of T for OJ and OIJ types in summer is most similar to that of warm Tsushima Current Core Water, and is not so cold as thought to be before. The concrete restored values of the palaeo-living T-S were suggested for the extinguished cryophilic ostracods (ca. 5-15°C and ca. 33.5‰ with narrow width) compared with the T-S ranges in recent three types and fossil occurrence modes of both extinct cryophilic and recent other species from early Pleistocene Omma Formation. In previous studies, it has been considered that these cryophilic species flourished under the obscurely called "cold waters" in shallow-sea during early Pleistocene glacial periods. The estimated T-S range in this study is most similar to that at shallower than 30 m depth in summer at southern Okhotsk Sea, but the former is different from the latter in winter in terms of the low salinity. It is also

学位論文審査結果の要旨

平成 14 年 1 月 19 日に第 1 回学位論文審査委員会を行い、1 月 30 日に口頭発表と第 2 回学位論文審査委員会を開催し以下の通り判定した。

本論文は、銅鉱山廃水中に形成したバイオマットにおける、シアノバクテリアによる銅の生体鉱物化作用とストロマトライト様縞状構造の形成に関する研究である。多量の重金属は生体にとって毒であるが、研究地域の島根県銅ヶ丸鉱山の銅と亜鉛を多量に含む廃水中にはシアノバクテリアを主とする微生物が繁殖し、ウッドワード石、翠銅鉱、シャタカイトといった銅鉱物を含むバイオマットが形成している。バイオマットの化学分析と、光学顕微鏡レベルから透過型電子顕微鏡による nm レベルでの観察により、シアノバクテリア細胞表面とシアノバクテリアがもつ粘着鞘を核形成の場として銅鉱物が形成することを明らかにした。更に本研究は、ストロマトライト様縞状構造の最小単位といえるマイクロミナとシアノバクテリアの細胞サイズとの一致を明らかにした。これまでマイクロミナの形成は、季節・日変化や溶液の物理化学的な環境変化により形成されと考えられてきたが、本研究により、シアノバクテリアの生体鉱物化作用の結果としてマイクロミナが形成されることが明らかとなった。

以上の結果は、金属汚染環境のバイオレメディエーション、体積性金属鉱床やストロマトライトの形成について重要な知見を示しており、本論文が博士（理学）の学位を受けるに値すると判定される。

clarified that most of extinct cryophilic species inhabited in shallow-open sea, not inner bay, based on the co-occurred species from Omma Formation. After examining stratigraphical occurrences of extinct cryophilic species on Pleistocene Japan Sea, the number of species drastically decreases between 1.2-0.4 Ma. In this duration, the amplitude of glacio-eustatic sea-level changes between the glacial-interglacial periods became larger than previous, and the marine environment appearing in interglacial periods changed, which would effect the prosperity and extinction of the cryophilic species.

和文要約

北西太平洋地域に位置する縁海の日本海は、特徴的な水塊構造とそれに対応した生物の分布様式で知られる(例：Nishimura, 1966)。筆者が研究対象としてきた甲殻類の一亜綱である介形虫も100種以上が現生し(例：Ikeya & Suzuki, 1992)、日本海沿岸の代表的な底生生物のひとつである。これらは石灰質の背甲をもつため、化石として残りやすい数少ない節足動物であり、沿岸の新生代第三紀鮮新世・第四紀更新世の地層から化石が多産する(例：Tabuki, 1986)。一方、縁海の日本海は隣り合う他の海洋と隔離されやすく、特に更新世前期の氷期には、完新世の氷期とも間氷期とも異なる水塊環境が現れたと推定される。介形虫群集が水塊環境の違いによく対応して分布することはよく知られているので(例：Correge, 1993)、もし化石と現生群集の種構成や生息環境を比較できれば、それは現在の日本海の底生生物群集の形成過程やその水塊環境変化との関連を詳しく知る良い材料となる。しかし沿岸の地層から産出する多くの介形虫属・種は、現在は沖合いの外洋陸棚域の海底に生息し、大きさも1 mm前後と小さいため、日本海の現生群集の分布や水塊との対応については一部の海域や水深範囲、特定の属や種に限った研究例しかなかった(例：Ishizaki & Irizuki, 1990 ; Ikeya & Suzuki, 1992)。

一方、沿岸の丘陵地に分布する鮮新-更新統からは、いわゆる大桑-万願寺型介形虫が多産する(例：Cronin & Ikeya, 1987)。これらの種が含まれる属は現在、日本列島よりも高緯度域に分布するため、好冷性種と呼ばれてきた。これらは従来、現在より寒冷な氷期の日本海で繁栄し、間氷期の暖流の流入による周期的な

温暖化(例：Tada, 1994)で絶滅したと漠然と捉えられてきた。しかし近年、一部の好冷性(大桑- 万願寺型)種の生体が日本海北部域で見つかり(例：伊藤、1996)、間氷期においても外洋陸棚域に生息することが報告された。その結果、具体的な生息水塊の特性(水温・塩分)を初めて知ることとなったが、水温・塩分情報はまだ総括されておらず、各種の分布する水塊環境の全体像も把握できていない。

この他にも鮮新- 更新世の化石には、現生の分布報告のない20以上の好冷性種が含まれる。これらは絶滅したと考えられ、生息した水塊特性は「寒冷」という漠然としたイメージしかなかったが、この水塊特性を特定できれば、鮮新- 更新世の氷期の浅海域の環境をより具体的に推定できる。さらに更新世と現在の水塊特性や構成種を比較することで、更新世前期以降という短期間に縁海で多くの種が絶滅した理由や、氷河性海水準変動に伴う海洋環境変化と絶滅イベントとの具体的な関連を初めて示すことができる。

これらの問題点を踏まえ、本研究の目的をまとめると以下のようになる；(1) 日本海沿岸の複数海域に見られる現生介形虫群集の分布様式と水塊環境の解明、(2) 代表的な好冷性(大桑- 万願寺型)種の日本周辺での現生分布および夏・冬季の水温・塩分から見た生息環境の把握；(3) 絶滅した好冷性(大桑- 万願寺型)種の生息環境の推定；(4) 更新世の海洋環境変化と絶滅の具体的な関連の考察である。これらの目的に沿って、下記に4項目の結果を示した。

(1) 日本海沿岸の現生群集分布と水塊環境(水温・塩分)：日本海南西～北東部にかけの沿岸4海域の陸棚・陸棚斜面で採取された表層堆積物約80試料の介形虫種を同定して群集区分を行い、水塊の発達しやすい夏季の水温・塩分との対応を検討した。水温・塩分情報は複数の特定の水深に関する、緯度・経度1度メッシュ内の実測値の平均値を用いた。その結果、現在の日本海沿岸の陸棚・陸棚斜面域では約200種が分布し、4群集が垂直的に分布する。これらは各々独自の生息水温・塩分範囲をもち、これは夏季に発達する4タイプの水塊(対馬暖流表層水、対馬暖流中層水、日本海中間・固有水、冷水系中層水)に対応する。

また冷水系中層水に生息する一部の種は、分布水深が南北海域で100m以上も

異なる。これは暖流系水の及ぶ水深が南北で異なる海況への対応であり、広範な生息域をもつ介形虫が水深ではなく、水温・塩分に依存して分布することを明確に示している。

(2) 現生好冷性(大桑-万願寺型介形虫)種の分布と水温・塩分：好冷性の代表的な3科(Hemicythere科、Cytherura科、Eucythere科)の現生種16種の分布(生体・遺骸殻)海域と水深を総括した。また各種が分布する水深の夏・冬季の平均水温・塩分値を検討した。外洋域の値は緯度・経度1度メッシュ内の実測値の平均値を、内湾については各湾で報告された実測値を用いた。その結果、冷水系中層水群集に含まれる好冷性(大桑-万願寺型)の3科16種は、東北・北海道沖の陸棚外洋に分布し、同地域の外洋・内湾の両方に分布する種も多いことが判明した。

生息域とその夏季水温・塩分範囲の違いに基づき、16種は3タイプ：a) 日本周辺外洋型(6種)、b) 日本周辺内湾&外洋型(9種)、c) 日本周辺&アラスカ外洋型(1種)に区分された。分布域の水温については夏季5-20℃と幅広い種、0-5℃と狭い種があり、冬季は全ての種が0-5℃を好む。また塩分範囲は30-34‰と幅広い種、34‰前後と狭い種がある。その結果、このような幅のある水温・塩分範囲に分布する種を、これまで一括して好冷性種と呼んでいたことを見い出した。

これらの好冷性介形虫は、絶滅した好冷性介形虫種や一般に寒冷種や寒流系種と呼ばれる大桑-万願寺型動物群(貝類)化石と共産する。しかし上記の現生好冷性(大桑-万願寺型)介形虫16種のうち、a), b)の11種は夏季に水温20℃前後となる海域にも分布できる。この水温は実際には対馬暖流中層水の水温範囲に最も近い。暖流系水域との顕著な違いは冬季水温が約5℃低いことで、この冬季水温の低さが多くの暖流系種の侵入を制限・阻止するのだろう。このように現在まで生き延びた好冷性(大桑-万願寺型)介形虫は、夏季は比較的高温で冬季は低温という、現在では特異ともいえる海洋環境を主要分布域とすることが判明した。

(3) 絶滅した好冷性(大桑-万願寺型)種の古生息環境：日本海沿岸の鮮新-更新統の中で、好冷性の絶滅種を最も多く(20種以上)含む更新世前期大桑層の化石群集(約150万年前；約100試料)を用いて古生息環境を推定した。ここでは代表的

な3科(Hemicythere科、Cytherura科、Eucythere科)に含まれる絶滅種20種を扱った。これらの20種の過去の生息環境が、外洋域なのか内湾域なのかを、外洋性のCythere属と内湾性のBicornucythere属の産出頻度に基づいて検討した。さらに好冷性種を含む日本海の代表的な現生種と、絶滅した20種の化石における地層での共産関係(全く同調して産するのか否か)を検討した。

その結果、大桑層産の絶滅種のほとんど(90%= 20種中の18種)は外洋浅海に主に分布していたと推定された。それらはHemicythere科とCytherura科に属する種で、特に3属Laperousecythere, Cornucoquimba, Semicytheruraで種数が多い。内湾に主な分布を持つ種は、Eucythere科の2種である。

3科の絶滅種の種数・割合は外洋(67%= 絶滅18種/現生9種+絶滅18種)に比べ、内湾(22%= 絶滅2種/現生7種+絶滅2種)の方が少ない。この現象は外洋に主に分布する種に比べ、内湾にも分布できる種は生息可能な水温・塩分条件幅が広く、更新世から現在にかけて出現したであろう水温・塩分の周期的な大変化をある程度受け入れることができ、生息可能な水温・塩分範囲の外洋または内湾のどちらでも、環境変化を乗り切ることができたためと考えられる。

外洋性の絶滅種は、a) 対馬暖流中層水を好む現生種とほとんど共産しない、b) 日本海中間・固有水を好む現生種と共産するが、その増減パターンが逆である、c) 対馬暖流表層水と冷水系中層水をそれぞれ好む現生種と共産するが、増減パターンやピークの層準が異なることが明らかになった。絶滅種の大桑層での割合の増減パターンが、好冷性種を含むいずれの現生種とも異なることから、これらは現在の日本列島周辺に分布する水塊とは異なる条件の水域に分布していた可能性がある。

これらの結果を踏まえ、絶滅種の生息した水塊は、現在の日本海と周辺海洋には存在しない外洋の水塊環境(夏季冬季ともに水温5-15℃・塩分33.5‰前後の範囲内)であろうと推定した。これに最も近い水温・塩分値は、現在のオホーツク海南部の水深30m以浅で夏季に限定的に現われる。しかしここでは冬季に季節氷(流水)が出現するため、塩分が32‰以下まで低下する。上記の水温・塩分条件を満

たす場を想定すると、暖流流入量が現在のオホーツク海南部と同程度かそれ以下で、かつ冬季に季節氷が存在しない外洋浅海となるが、このような海域は現在の日本列島周辺には見られない。なぜなら現在のような間氷期には、南方から日本海へ多量に高塩分の暖流系水が流入しており、氷期に現れる低塩分の外洋域は、季節氷が発達するような北方のオホーツク海南部にしか存在しないためである。一方、大桑層堆積当時の氷期には、現在のオホーツク海のような低塩分環境が存在したが、低緯度のためおそらく季節氷は発達せず、冬季の低塩分化も生じなかったと考えられる。外洋性の絶滅種は、更新世前期以降に日本海と周辺海洋の環境条件が変化したため生息に適した環境を失い、現在までに多くが絶滅したと推測される。

(4) 更新世の海洋環境変化と絶滅プロセスの関連：好冷性種を含む、日本海沿岸の更新統の複数の化石群集を検討した。3科の絶滅種の産出の有無を検討し、それらの最後の産出時期を総括した。その結果、外洋性と考えられる絶滅種24種が認められた。これらは更新世前期以降に種数が減り、特に約120-40万年前の約80万年間に24種中18種(75%)が産出しなくなっていた。この期間は、氷期-間氷期間の海水準変動量がそれ以前の時期より増大した時期であり、好冷性種の分布する海洋環境が約150万年前の大桑層堆積時の状況から、現在に近い水温・塩分条件へと変化した時期であると推測される。

現生する好冷性種のうち、前述の「日本周辺&アラスカ外洋型」は生息可能な塩分が、「日本周辺内湾&外洋型」は生息可能な水温・塩分がそれぞれ幅広く、これらの変化を受け入れて、乗り切ることができた種である。すなわち前者は更新世に、夏季・冬季水温が5℃以下という規制条件のもとで、低塩分(31-33%)の北大平洋域まで生息範囲を拡大した。後者は更新世前期以降の間氷期に生じた南方からの暖流流入による環境変動により生息範囲を狭めたが、冬季水温5℃以下の条件を満たす比較的高塩分(33.5-34%)の日本海北部の浅海外洋・オホーツク海南部沿岸の浅海外洋、低塩分(32-33.5%)の内湾等の多くの場で、個体群を維持できたのであろう。

また「日本周辺外洋型」の3種については、更新世前期以降の氷期の生息条件に似た水塊環境が間氷期の暖流流入量最大期(例：現在に似た状況)にも、日本海沿岸の海洋構造の中に狭いながらも存続していたため、更新世前期以降も日本海の限定的な場所で生き延びることができたのだろう。これらの考察から、日本海で氷期に繁栄した好冷性介形虫は、水温・塩分変化の耐性幅の差異により、更新世前期以降の氷河性海水準変動に伴う海洋環境変動を乗り切り現在まで生き延びた種と、耐性がなく好適な生息環境を失って絶滅した種に二分されたと推測される。

本研究の調査結果は、更新世以降の日本海沿岸における好冷性介形虫の衰退・絶滅プロセスの一面を初めて明らかにした。また更新世の氷期における日本海浅海の「寒冷」環境に関する初めての具体的な数値・復元を示した。さらに水塊と生物群集分布の対応、多くの生物が生息した日本海浅海域の氷期の古海洋環境、氷河性海水準変動に伴う縁海の水塊環境変化と生物群集の衰退・絶滅との関わりについて、今後の調査研究に新しい観点を提供する。具体的には海生生物の分布・盛衰と海洋環境との関連を考える際には、従来よく用いられてきた水温だけでなく塩分の検討も重要であること、また従来用いられてきた水温の年間平均値ではなく、水温・塩分の季節的な違いも重視すべきであること等の観点である。介形虫には、隔離された縁海でも周期的な環境変動を乗り切る耐性をもつ種ともたない種が存在し、環境変動後の生存・絶滅とその要因を、化石記録を合わせることで読み取れる数少ない節足動物で、古生物学的に興味深い生物であると言えるだろう。

学位論文審査結果の要旨

本論文については、論文内容および参考資料に関する各審査委員による検討の後、平成14年2月1日に公開口頭発表会を開催した。その後の審査委員会で論文内容を詳細に協議した結果、以下のように判定した。

今からおよそ200～100万年前の日本海にはいわゆる「大桑万願寺動物群」とよばれる寒冷な浅海に棲む生物が生息していたことが知られている。これらは化石として多産するものの現在の日本周辺には分布しておらず、絶滅したと漠然と考えられてきた。本研究は、1) 日本海の現生底生介形虫群集を調査し、同群集が大きく4つに分けられること、水温と塩分に代表される水塊の性質がこれら4つの介形虫群集の分布をコントロールしていることをはじめて定量的に示した。2) その過程で、従来絶滅したと考えられてきた大桑万願寺型介形虫種の一部が生き残り、北方のある水塊に生息していること、これらの「生き残り」種は生息環境の違いによりさらに3グループに細区分されることを明らかにした。3) 化石介形虫を調査し、その産出状況から絶滅種と「生き残り」種の生息環境に相違点のあること、絶滅種の最適生息環境は氷期に現れたやや寒冷で塩分が低めの水塊（夏の水温20℃、冬の水温5℃、塩分33.5‰）であり、この水塊が現在の日本海および北方海域に存在しないことが絶滅の大きな要因であろうことを初めて具体的に示した。4) 200万年前から完新世にいたる化石介形虫種を調べ、大桑万願寺型介形虫種の絶滅が暖流流入量の増大した80～50万年前に顕著に生じたことを明らかにした。

以上の研究成果は古環境学、進化古生物学に多くの新知見をもたらすものであり、博士（理学）論文に値するものと判断された。